"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و پنجم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

اثر کشت متراکم بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد هیبریدهای امیدبخش و لاین‌های والدینی ذرت (*Zea mays* L.)

Effect of high density planting on grain yield and yield components of promising hybrids and parental lines of maize (*Zea mays* L.)

علی ماهرخ[۱]، محمدرضا شیری[۲] و فرید گل‌زردی[۳]

چکیده

ماهرخ، ع.، م.ر. شیری و ف. گل‌زردی. ۱۴۰۲. اثر کشت متراکم بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد هیبریدهای امیدبخش و لاین‌های والدینی ذرت (*Zea mays* L.). **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۵ (۲): ۱۵۳ -۱۳۷.**

تنش‌های محیطی و مدیریت نامناسب زراعی از عوامل اصلی کاهش عملکرد گیاهان زراعی از جمله ذرت محسوب می‌شوند. بر این اساس ارزیابی هیبریدهای امیدبخش ذرت و لاین‌های والدینی آن‌ها در شرایط کشت متراکم برای شناسایی ارقام انعطاف‌پذیر نسبت به شرایط نامساعد محیطی ضروری به نظر می‌رسد. به‌همین منظور، چهار آزمایش مجزا طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر اجرا شد و ۲۱ لاین زودرس (آزمایش اول)، ۲۶ لاین دیررس (آزمایش دوم)، ۲۴ هیبرید زودرس (آزمایش سوم) و ۲۶ هیبرید دیررس (آزمایش چهارم) مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای ایجاد شرایط تنش و تشدید رقابت درون گونه‌ای، لاین‌ها و هیبریدهای دیررس و زودرس به‌ترتیب با تراکم ۱۴۰ و ۱۶۰ هزار بوته در هکتار کشت شدند. نتایج نشان داد که در بین لاین‌های زودرس، لاین ۱۲ بیشترین عملکرد دانه (۸۲۶۲ کیلوگرم در هکتار) را داشت. در آزمایش دوم نیز لاین ۱۲ بیشترین عملکرد دانه را داشت. در بین هیبریدهای زودرس، هیبرید ۱ بیشترین عملکرد دانه (۹۵۹۴ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد. در آزمایش چهارم نیز بیشترین عملکرد دانه (۸۳۱۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به هیبرید ۱۰ بود. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها برای کشت در شرایط تراکم بالا شامل لاین زودرس KE781010/521، لاین دیررس K47/2-2-1-2-2-1-1-1، هیبرید زودرس K1263/17×MO17 و هیبرید دیررس K47/2-2-1-3-3-1-1-1×K166B هستند. بر اساس نتایج هر چهار آزمایش که نشان داد عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت را با تعداد دانه در ردیف بلال، تعداد دانه در بوته و تعداد بلال در بوته داشت، می‌توان اظهار کرد که ژنوتیپ‌های ذرت سازگار به کشت متراکم، توانایی تولید دانه و بلال بیشتری در شرایط کشت متراکم را داشته و تحمل بیشتری به تنش‌های محیطی دارند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه همبستگی، تراکم بوته، ذرت، رقابت و عملکرد دانه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۶ این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی شماره ۹۹۰۰۳۵-۰۰۵-۰۳-۰۳-۲ مصوب مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می‌باشد

۱- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(مکاتبه‌کننده) (پست الکترونیک: ali_mahrokh229@yahoo.com)
۲- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

Effect of high density planting on grain yield and yield components of promising hybrids and parental lines of maize (*Zea mays* L.)

Mahrokh. A.[1], M. R. Shiri[2] and F. Golzardi[3]

ABSTRACT

Mahrokh. A., M.R. Shiri and F. Golzardi. 2023. Effect of high density planting on grain yield and yield components of promising hybrids and parental lines of maize (*Zea mays* L.). **Iranian Journal of Crop Sciences. 25(1): 137-153. (In Persian).**

Introduction: High plant density is considered as a stress that affects growth and developmental stages of crops throughout the life cycle. Results of previous studies have indicated that high yielding maize cultivars under high-density planting conditions are better adapted to most environmental stresses. Therefore, maize breeders use high plant density to identify cultivars tolerant to environmental stresses. The present study was conducted with the objective of evaluating 97 promising hybrids and parental lines of maize under high plant density planting conditions, facilitating the identification of cultivars tolerant to unfavorable environmental conditions.

Materials and Methods: This study consisted of four seperate experiments conducted on 21 early-maturity lines (first trial), 26 late-maturity lines (second trial), 24 early-maturity hybrids (third trial), and 26 late-maturity hybrids (fourth trial) of maize. The experiments were carried out in randomized complete block design with three replications at research field of Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran, in 2020 and 2021 growing seasons. The late- and early-maturity lines and hybrids were cultivated at plant densities of 140000 and 160000 plants.ha^{-1}, respectively. Grain yield, number of grain rows ear^{-1}, grain number row^{-1}, 1000 grain weight, grain number plant^{-1} and test weight (hectoliter) were measured and recorded.

Results: The results showed considerable variations in grain yield of maize hybrids and parental lines across different trials. In the first trial, line No. 12 with 8262 kg.ha^{-1} had the highest grain yield. In the second trial, the highest grain yield (6025 kg.ha^{-1}) obtained from line No. 12. In the third trial, hybrid No. 1 had the highest grain yield (9594 kg.ha^{-1}), while in the fourth trial, hybrid No.10 with 8313 kg.ha^{-1} had the highest grain yield. Principal component analysis also indicated that the t suitable adapted genotypes for cultivation under high-density planting conditions included; early-maturity line KE781010/521, the late-maturity line K47/2-2-1-2-2-1-1-1, early-maturity hybrid K1263/17×MO17, and late-maturity hybrid K47/2-2-1-3-3-1-1-1×K166B.

Conclusion: Based on the results of all four experiments, which demonstrate significant and positive correlation between grain yield and grain number row^{-1}, grain number plant^{-1}, and ear number plant^{-1}, it can be concluded that maize genotypes adapted to high plant density planting conditions produce more grains and ears in high plant density conditions are better adapted to environmental stresses.

Key words: Competition, Correlation analysis, Grain yield, Maize and Plant density

Received: May, 2023 **Accepted: October, 2023**

1. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (Corresponding author) (Email: ali_mahrokh229@yahoo.com)
2. Associate Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

مقدمه

افزایش شش برابری عملکرد دانه ذرت طی هشت دهه اخیر از طریق روش‌های به‌نژادی و مدیریت‌های مناسب زراعی حاصل شده است که افزایش تراکم بوته یکی از عوامل مهم این موضوع محسوب می‌شود (Duvick, 2005). افزایش عملکرد ذرت در این دوره عمدتاً به دلیل افزایش تعداد بوته در واحد سطح، به‌عنوان تابعی از تراکم بوته نسبت داده شده است (Tang *et al*., 2018). در گیاه ذرت، افزایش خطی عملکرد دانه با افزایش تراکم بوته تا حد معینی امکان‌پذیر است، اما پس از آن با افزایش بیشتر تراکم، به علت رقابت بوته‌ها برای تابش، آب و مواد غذایی این روند منحنی می‌شود (Argenta *et al*., 2001). تراکم بالای بوته در گیاهان یک نوع تنش محسوب می‌شود که رشد گیاهان زراعی را در طول چرخه زندگی آنها به‌طور پیوسته تحت تأثیر قرار می‌دهد (Tang *et al*., 2018). افزایش تراکم بوته ذرت باعث عمودی شدن برگ‌ها، جذب بیشتر تابش در واحد سطح، کاهش اندازه گل‌آذین نر، کوتاه شدن فاصله گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم، افزایش وزن هزار دانه، به‌دلیل طولانی شدن مرحله پر شدن دانه و افزایش شاخص سطح برگ می‌شود (Duvick, 2005). در شرایط تراکم بالای بوته، رقابت شدید برای جذب منابع از مرحله گلدهی آغاز می‌شود که این موضوع اثر مهمی در عملکرد دانه دارد (Tang *et al*., 2018). تراکم بالای بوته به‌دلیل کاهش تعداد دانه در بوته و تعداد دانه در واحد سطح و وزن نهایی دانه، بیشترین تاثیر را بر عملکرد دانه ذرت دارد (Maddonni and Otegui, 2004).

تنش‌های محیطی از مهم‌ترین عوامل کاهنده عملکرد دانه ذرت محسوب می‌شوند (Mahrokh *et al*., 2021)، بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش‌های محیطی عملکرد مناسبی داشته باشند، یکی از موضوعات مهم به‌نژادی محسوب می‌شود (Balazadeh *et al*., 2021). انتخاب تراکم بهینه، امکان جذب موثر تابش را برای گیاه ذرت فراهم کرده و باعث افزایش قابل توجه عملکرد دانه می‌شود (Meng *et al*., 2013). در مقابل، تراکم بیش از حد به دلیل افزایش رقابت بین بوته‌ها برای جذب منابع، می‌توانند باعث ایجاد تنش شده و عملکرد دانه را کاهش دهد (Mahrokh *et al*., 2023). نتایج تحقیقات نشان داده است که در گیاهانی مانند ذرت که عملکرد تک‌بوته بالایی دارند، قدرت رقابت درون گونه‌ای کمتر است و این گیاهان حساسیت بیشتری به تراکم‌های بالا نشان می‌دهند (Zhai *et al*., 2015). در عین حال ژنوتیپ‌هایی از ذرت که قادرند در تراکم‌های بالای کاشت و شرایط مدیریت نامناسب، عملکرد مناسبی داشته باشند، نسبت به اکثر تنش‌های محیطی متحمل‌تر هستند (Sandhu and Dhillon, 2021). بر این اساس بسیاری از به‌نژادگران ذرت برای انتخاب مواد ژنتیکی متحمل به تنش‌های محیطی، از تراکم بوته بالا استفاده می‌کنند (Tokatlidis and Koutroubas, 2004; Tang *et al*., 2018). تراکم‌های بالا برای ایجاد تنش‌هایی همانند رقابت برای نور، رطوبت و مواد غذایی قابل‌استفاده هستند (Sandhu and Dhillon, 2021). تغییر تراکم بوته در گیاه ذرت به‌عنوان یک روش برای گزینش موفق و مؤثر ژنوتیپ‌ها برای اهداف خاص محسوب می‌شود (Dhaliwal and Williams, 2020). انتخاب ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تراکم بوته بالا عملکرد مناسبی داشته باشند، یکی از برنامه‌های به‌نژادی ذرت است (Tang *et al*., 2018) و افزایش عملکرد ذرت‌های تجاری در کمربند ذرت در آمریکا از سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۷۰ در اثر انتخاب ژرم‌پلاسم ذرت در شرایط تراکم بالا و اجرای آزمایش‌های بعدی برای پایداری عملکرد حاصل شده است (Tollenaar and Lee, 2002).

به‌نژادگران ارقام تجاری ذرت توجه ویژه‌ای به انتخاب مواد ژنتیکی هیبریدهای ذرت در شرایط تراکم بوته بالا دارند و عقیده بر این است که ژنوتیپ‌هایی که

به تنش کمبود نور (تراکم بالا) تحمل خوبی دارند، به تنش خشکی نیز متحمل هستند (Vasal *et al*., 1997). تنش کمبود نور (سایه‌انداز بیشتر ناشی از تراکم بوته بالا) و تنش خشکی هر دو از طریق محدودیت تأمین مواد پرورده در متابولیسم گیاه، باعث کاهش عملکرد دانه می‌شوند که در اکثر تنش‌های محیطی نیز این تغییرات حادث می‌شود (Yan *et al*., 2017; Golzardi *et al*., 2017). نتایج آزمایش مقدم و هادی‌زاده (Moghadam and Hadizadeh, 2000) نشان داد که بین تراکم بوته بالا و قطع آب در مرحله بحرانی رشد گیاه ذرت، همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت و این دو تیمار در یک رتبه قرار داشتند و گزارش شد که در گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی می‌توان از عامل تراکم بوته بالا استفاده کرد. داو و همکاران (Dow *et al*., 1984) گزارش دادند که عملکرد دانه ذرت تحت تأثیر تراکم کاشت و هیبرید قرار داشته و بیشترین میزان لوله‌ای شدن برگ در کرت‌های دارای بالاترین تراکم بوته مشاهده شد که این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده همبستگی بین تراکم بوته بالا و تنش خشکی باشد. کو و همکاران (Ku *et al*., 2015) گزارش کردند که واکنش گیاه ذرت به تراکم بوته بالا مشابه با پاسخ فیزیولوژیکی آن به تنش‌های محیطی (خشکی و کمبود عناصر غذایی) است و دارای سازوکارهای مولکولی خاص و مشابهی می‌باشد.

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ۵۰ هیبرید امیدبخش ذرت و ۴۷ لاین والدینی آن‌ها از گروه‌های مختلف رسیدگی (زودرس تا دیررس) در شرایط تراکم بوته بالا اجرا شد تا امکان شناسایی و انتخاب ارقام متحمل به شرایط نامساعد محیطی (تنش خشکی، دمای بالا، تنش نوری و رقابت علف‌های هرز) فراهم شود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت چهار آزمایش مستقل با استفاده از ۲۱ لاین زودرس (آزمایش اول)، ۲۶ لاین دیررس (آزمایش دوم)، ۲۴ هیبرید زودرس (آزمایش سوم) و ۲۶ هیبرید دیررس ذرت (آزمایش چهارم) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج (ارتفاع ۱۲۴۸ متر از سطح دریا، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی) اجرا شد. محل اجرای آزمایش دارای آب و هوای نیمه‌خشک بوده و بر اساس داده‌های بلندمدت هواشناسی، میزان بارندگی و تبخیر سالیانه منطقه به‌ترتیب ۲۵۱ و ۲۱۸۴ میلی‌متر و میانگین دمای هوا و خاک به‌ترتیب ۱۳/۵ و ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اسامی لاین‌ها و هیبریدهای ذرت مورد ارزیابی در جدول ۱ ارائه شده است.

هر کرت آزمایشی شامل سه ردیف کاشت به طول شش متر و فاصله بین ردیف ۷۵ سانتیمتر بود. پس از کاشت بذرها و استقرار گیاهچه‌ها، در مرحله دو تا سه برگی با اجرای تنک، فاصله بین بوته‌ها در روی ردیف در ارقام دیررس و زودرس به‌ترتیب به ۹ و ۸ سانتیمتر رسانده شد تا تراکم بوته به‌ترتیب ۱۴۰ و ۱۶۰ هزار بوته در هکتار حاصل شود. این تراکم‌های بوته (که دو برابر تراکم کاشت مطلوب هستند) بر اساس نتایج آزمایش‌های قبلی و برای ایجاد شرایط تنش و افزایش رقابت درون‌گونه‌ای انتخاب شدند (Moghadam and Hadizadeh, 2000). برای ایجاد شرایط نامناسب و افزایش رقابت بین‌گونه‌ای، کنترل علف‌های هرز فقط قبل از کاشت و در اوایل دوره رشد تا استقرار گیاهچه‌ها انجام شده و از آن به بعد تا انتهای فصل رشد، کرت‌های آزمایشی بدون وجین و در رقابت با علف‌های هرز باقی گذاشته شدند. آبیاری و کوددهی نیز بر مبنای تراکم مطلوب بوته‌ها انجام شدند (Tang *et al*., 2018). براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۲) و نیاز غذایی گیاه، قبل از کاشت ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع کود فسفات آمونیوم)

به زمین داده شد. به‌علاوه ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع کود اوره) طی چهار نوبت، زمان کاشت، مراحل ۳ تا ۴ برگی، ۶ تا ۸ برگی و پر شدن دانه به خاک داده شد. آبیاری با روش قطره‌ای نواری (تیپ) و بر اساس تبخیر تجمعی ۵۰ میلی‌متر آب از سطح تشتک تبخیر کلاس A انجام شد. طول دوره رشد برای لاین‌ها و هیبریدهای زودرس ۱۰۹ روز و برای لاین‌ها و هیبریدهای دیررس ۱۲۸ روز بود.

جدول ۱- لاین‌ها و هیبریدهای ذرت مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Maize lines and hybrids used in the experiment

شماره No.	لاین‌های زودرس Early maturity lines	لاین‌های دیررس Late maturity lines	هیبریدهای زودرس Early maturity hybrids	هیبریدهای دیررس Late maturity hybrids
1	K1263/17	K3653/2	K1263/17×MO17	K3653/2×K1264/5-1
2	K56	4-CHTSEY,2002/90/1-2	K56×MO17	4-CHTSEY,2002/90/1-2×K1264/5-1
3	KE76009/311	KLM77002/10-1-1-1-1-3-2	KE76009/311×MO17	KLM77002/10-1-1-1-1-3-2×K1264/5-1
4	KE76009/312	K18X2-CHTHIY,2002/90/77-3	KE76009/312×MO17	K18x2-CHTHIY,2002/90/77-2×K1264/5-1
5	KE78010/421	K18x2-CHTHIY,2002/90/77-1	KE78010/421×MO17	20-CHTSY, 2002/90/61-2×K3640/3
6	KE78027/1112	K18x2-CHTHIY,2002/90/77-2	KE78027/1112×MO17	K3547/4×K1264/5-1
7	KE77010/2	20-CHTSY, 2002/90/61-2	SC400	K47/2-2-1-4-1-1-1×K3640/3
8	KE78015/421	K3547/4	KE78015/421×MO17	K47/2-2-1-2-1-1-1-1×K1264/5-1
9	KE78011/1021	K47/2-2-1-4-1-1-1	SC410	K47/2-2-1-2-2-1-1-1×K1264/5-1
10	KE80001/72112	K3640/3	KE80001/72112×MO17	K47/2-2-1-3-3-1-1-1×K166B
11	KE81018/711	K47/2-2-1-2-1-1-1-1	KE81018/711×MO17	K47/2-2-1-3-3-1-1-1×K1264/5-1
12	KE781010/521	K47/2-2-1-2-2-1-1-1	KE781010/521×MO17	K47/2-2-1-4-1-1-1×K1264/5-1
13	KE78015/511	K47/2-2-1-3-3-1-1-1	KE81018/7121×MO17	K47/2-2-1-2-2-1-1-1×K1264/5-1
14	KE78012/121	K74/1	KE78012/221×K1263/1	K47/2-2-1-4-1-1-1×K1264/5-1
15	KE79017/8211	KLM76002/3-1-1-1-1-1-1-3	KE79007/7111×K1263/1	K47/2-2-1-4-1-1-1-1×K1264/5-1
16	KE78008/212	KLM82010	KE79006/3211×K1263/1	K47/2-2-1-4-2-1-1-1×K1264/5-1
17	KE78004/322	KLM76004/3-5-1-2-2-1-1-1	KE78015/511×K1263/1	K74/1×K1264/5-1
18	KE77008/1	KLM76021/1-3-1-1-1-2-1-1	KE78012/121×K1263/1	KLM76002/3-1-1-1-1-1-1-3×K1264/5-1
19	KE79005/9211	KLM81027	KE79017/8211×K1263/1	KLM82010×K166B
20	K1263/1	KLM78012/6-1-1-1-1-3	KE78008/212×K1263/1	KLM76004/3-5-1-2-2-1-1-1×K1264/5-1
21	K1264/5-1	K166B	KE78004/322×K1263/1	KLM76021/1-3-1-1-1-2-1-1×K1264/5-1
22	-	MO17	KE77008/1×K1264/5-1	KLM81027×K47/3
23	-	B73	KE79005/9211×K1264/5-1	KLM77002/3-1-1-1-1-1-1-3×K47/3
24	-	K18	SC260	KLM78012/6-1-1-1-1-3×K47/3
25	-	K722	-	SC715B
26	-	A679	-	SC704

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Physical and chemical properties of the soil at the experiment site

بافت Texture	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر قابل جذب Available phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب Available potassium ($mg.kg^{-1}$)	ماده آلی Organic matter (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
لوم- رسی Clay-loam	0.07	12.0	255	0.56	7.2	2.2

صفات و شاخص‌های گیاهی اندازه‌گیری شده شامل عملکرد دانه و اجزای عملکرد (تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و وزن حجمی دانه (وزن هکتولیتر) بودند. برای محاسبه عملکرد دانه محصول سه مترمربع از هر کرت برداشت شد. برای منظور محصول ردیف وسط

هر کرت با حذف یک متر از ابتدا و انتهای آن به عنوان اثر حاشیه‌ای برداشت و عملکرد دانه بر اساس رطوبت ۱۴ درصد اصلاح و ثبت شد. جهت تعیین اجزای عملکرد، تعداد ده بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات مورد نظر در بلال‌ها ثبت شدند. جدا کردن دانه‌ها از چوب بلال با استفاده از دستگاه شیلر و میزان رطوبت دانه نیز با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتالی اندازه‌گیری شد. شمارش تعداد دانه‌ها برای تعیین وزن هزار دانه با استفاده از دستگاه بذرشمار انجام شد. وزن حجمی دانه‌ها نیز با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری وزن هکتولیتر که دارای ظرف استوانه‌ای مدرج یک لیتری است انجام و سپس توزین دانه‌ها انجام شد.

پس از اجرای آزمون بارتلت و احراز و همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی طی دو سال، داده‌ها با در نظر گرفتن سال به عنوان اثر تصادفی و ژنوتیپ به عنوان اثر ثابت به‌صورت مرکب تجزیه شدند. محاسبات با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز از برنامه XLSTAT 2018 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که لاین‌های زودرس ذرت از نظر تعداد بلال در بوته، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد و از نظر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند. از نظر تعداد بلال در بوته تفاوت زیادی بین لاین‌های مورد ارزیابی وجود داشت، به‌طوری که بیشترین تعداد بلال (۰/۹) در لاین ۱۹ و کمترین تعداد (۰/۲۷) در لاین ۲ ثبت شد (جدول ۳). بیشترین و کمترین تعداد ردیف در بلال (به‌ترتیب ۱۶/۸ و ۱۲/۲) به‌ترتیب در لاین‌های ۶ و ۱۸ مشاهده شد که البته تفاوت معنی‌داری با سایر لاین‌ها نداشتند (جدول ۳). بیشترین تعداد دانه در ردیف (۳۲/۱ دانه) مربوط به لاین ۱۲ و کمترین مقدار آن (۱۳/۲ دانه) مربوط به لاین ۵ بود. بیشترین تعداد دانه در بوته (۳۶۱ دانه) نیز در لاین ۱۲ و کمترین تعداد آن (۵۳ دانه) مربوط به لاین ۲ بود. البته لاین‌های ۱۱، ۲۰، ۱۳، ۱۹، ۱۷ و ۲۱ نیز از نظر تعداد دانه در بوته در گروه آماری برتر قرار داشتند (جدول ۳). با توجه به اینکه تعداد ردیف دانه در بلال تابع ژنوتیپ بوده و افزایش تعداد دانه‌ها نیز تابع تعداد بلال در بوته و تعداد دانه در ردیف است (Lashkari *et al.*, 2011)، به نظر می‌رسد که لاین‌های مورد ارزیابی در شرایط نامساعد توانایی تولید تعداد دانه بیشتری را نسبت به سایر لاین‌ها داشته باشند.

بیشترین و کمترین وزن هزار دانه (به‌ترتیب ۳۳۷/۲ و ۱۸۱/۴ گرم) به‌ترتیب در لاین‌های ۱۸ و ۲۰ به‌دست آمد. لاین‌های ۱۲ و ۲ نیز به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن هکتولیتر را داشتند (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه (۸۲۶۲ کیلوگرم در هکتار) در لاین ۱۲ ثبت شد که البته با لاین ۱۳ (۵۴۱۷ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین عملکرد دانه (۱۲۱۰ کیلوگرم در هکتار) نیز در لاین ۵ ثبت شد که به‌غیر از لاین‌های ۱۲، ۱۳، ۲۱ و ۱۷، با سایر لاین‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت. به‌طورکلی لاین شماره ۱۲ در شرایط نامناسب زراعی از نظر کلیه صفات مورد بررسی در گروه آماری برتر قرار داشت. بر اساس گزارش لی و همکاران (Li *et al.*, 2011) هر چند تراکم بوته بالا مانع بروز پتانسیل ژنتیکی کامل گیاه ذرت می‌شود، اما در سال‌های اخیر در چین، به‌نژادی از طریق انتخاب لاین‌های برتر در محیط‌های متراکم، باعث توسعه هیبریدهای ذرت جدیدی شده است که می‌توانند در شرایط تنش‌های غیرزیستی یا در رقابت با علف‌های هرز عملکرد بهتری را داشته باشند.

براساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۵۸/۱ و ۲۲/۱ درصد و در مجموع ۸۰/۲ درصد از کل تغییرات صفات در آزمایش اول را

توجیه کردند (شکل ۱). مؤلفه اصلی اول به‌طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه، تعداد دانه در ردیف، تعداد بلال در بوته و وزن هکتولیتر قرار داشت. مؤلفه اصلی دوم نیز به‌طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر وزن هزار دانه و به طور منفی و معنی‌داری تحت تأثیر تعداد ردیف در بلال قرار گرفت. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، لاین‌های ۱۲ و ۲ به‌ترتیب به عنوان مناسب‌ترین و نامناسب‌ترین لاین‌ها برای کشت متراکم شناسایی شدند (شکل ۱). از نتایج آزمایش اول (کشت متراکم لاین‌های زودرس) می‌توان استنباط کرد که لاین‌های KE781010/521 و KE78015/511 نسبت به تنش‌های محیطی و شرایط نامناسب زراعی متحمل‌تر بوده و در برنامه‌های به‌نژادی می‌توان از آن‌ها برای تولید ارقام متحمل به تنش استفاده کرد. تانگ و همکاران (Tang *et al.*, 2018) گزارش کردند که عمده افزایش عملکرد دانه ذرت در چین طی سال‌های اخیر در اثر افزایش تراکم بوته بوده و برای افزایش بیشتر عملکرد لازم است ژنوتیپ‌های متحمل به تراکم بالا همچنان شناسایی و معرفی شوند.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه و اجزای عملکرد لاین‌های زودرس ذرت در کشت متراکم

Table 3. Mean comparison of grain yield and yield components of early maturity maize lines in high density planting

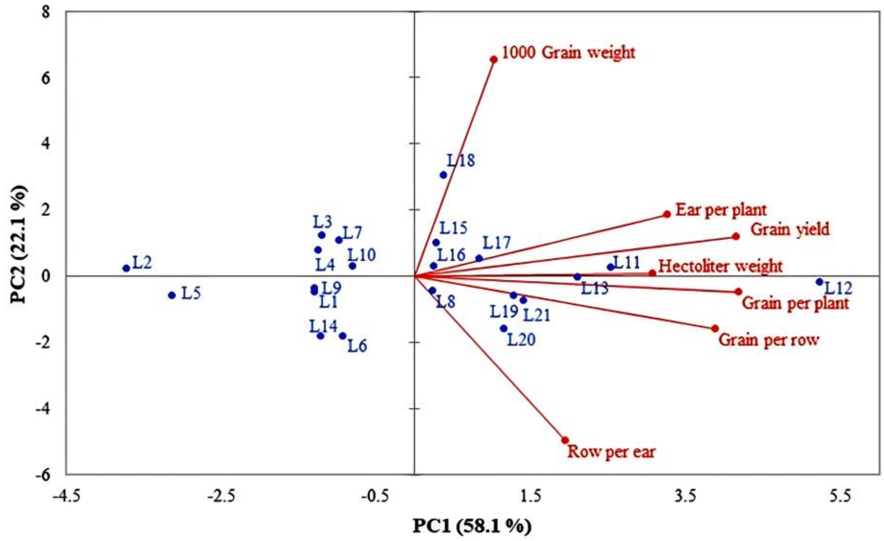
لاین‌های ذرت Maize lines	تعداد ردیف دانه در بلال Row.ear^{-1}	تعداد دانه در ردیف Grain.row^{-1}	تعداد دانه در بوته Grain.plant^{-1}	وزن هزار دانه 1000 Grain weight (g)	تعداد بلال در بوته Ear.plant^{-1}	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	وزن هکتولیتر Hectoliter (kg.100lit^{-1})
1†	13.6	18.7	141.4	235.3	0.56	1788	65.7
2	12.7	13.8	53.0	254.0	0.27	1384	61.0
3	14.1	14.7	121.5	312.0	0.54	2563	66.2
4	13.9	14.7	184.6	281.6	0.64	2576	62.0
5	13.6	13.2	73.0	223.7	0.39	1210	63.4
6	16.8	15.0	100.8	232.0	0.39	2428	68.5
7	12.8	18.7	166.2	278.6	0.66	2985	61.7
8	15.0	19.8	178.0	255.0	0.58	3650	67.9
9	13.3	18.4	143.4	221.1	0.56	2374	65.1
10	12.7	20.8	133.6	253.7	0.49	2471	68.6
11	14.2	25.5	328.7	267.3	0.89	4091	68.3
12	16.1	32.1	360.8	294.9	0.69	8262	73.0
13	16.0	24.2	267.3	293.0	0.69	5417	66.0
14	15.6	20.6	125.0	220.0	0.39	2161	67.7
15	12.6	19.2	195.8	259.7	0.78	3760	67.2
16	14.6	18.6	190.6	275.1	0.70	3384	66.8
17	13.6	20.8	226.7	266.8	0.68	4445	67.2
18	12.1	15.8	148.0	337.2	0.75	4214	71.3
19	14.0	20.2	247.5	213.9	0.90	3090	70.7
20	14.0	24.6	304.3	181.4	0.85	3361	64.0
21	16.1	17.9	223.9	248.0	0.76	4722	69.3
HSD (0.05)	5.9	7.2	149.2	79.0	0.42	3110	15.0

† The names of the maize lines are listed in table 1

† اسامی لاین‌های ذرت در جدول ۱ ارائه شده است

لاین‌های دیررس ذرت از نظر تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بوته، تعداد بلال در بوته و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و از نظر وزن هزار دانه و وزن هکتولیتر در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند. لاین‌های ۲، ۹ و ۱ با تولید به‌ترتیب ۰/۹۸، ۰/۸۵

و ۰/۸۱ بلال بیشترین تعداد بلال در بوته را داشتند، درحالی که لاین‌های ۱۵، ۱۷ و ۳ (به‌ترتیب با ۰/۲۴، ۰/۳۱ و ۰/۴۲ بلال) کمترین تعداد بلال در بوته را تولید کردند (جدول ۴). بیشترین و کمترین تعداد ردیف دانه در بلال (به‌ترتیب ۱۷/۹ و ۱۰/۷ ردیف) به‌ترتیب متعلق به لاین‌های ۸ و ۲۲ بود. بیشترین تعداد دانه در ردیف (۳۱/۸، ۳۱/۳ و ۳۰/۷ دانه) به‌ترتیب در لاین‌های ۴، ۸ و ۲۴ مشاهده شد که هر چند تفاوت معنی‌داری با لاین‌های ۱، ۲، ۶، ۷، ۱۲، ۱۳، ۱۷، ۱۹، ۲۱ و ۲۲ نداشتند. لاین‌های ۱۸ و ۱۵ نیز کمترین تعداد دانه در ردیف را داشتند (جدول ۴).



شکل ۱- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس عملکرد دانه و اجزای عملکرد لاین‌های زودرس ذرت در کشت متراکم

Fig. 1. Principal component analysis based on grain yield and yield components of early maturity maize lines in high density planting

† اسامی لاین‌های ذرت در جدول ۱ درج شده است

† The names of the maize lines are listed in table 1

بیشترین تعداد دانه در بوته (۴۰۶ دانه) در لاین ۱ ثبت شد که با لاین‌های ۲، ۴، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۹، ۲۱ و ۲۴ تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین تعداد دانه در بوته (۴۵ دانه) نیز در لاین ۱۵ و پس از آن در لاین ۱۸ مشاهده شد (جدول ۴). بیشترین وزن هزار دانه (۳۲۸/۹ گرم) در لاین شماره ۱۷ ثبت شد که البته با لاین‌های ۱، ۴، ۸، ۹، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۲ و ۲۵ تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین وزن هزار دانه نیز در لاین‌های ۲۶، ۱۰، ۱۴ و ۲۳ ثبت شد (جدول ۴). بیشترین و کمترین وزن هکتولیتر (به‌ترتیب ۷۵/۱ و ۵۷/۷ کیلوگرم) به‌ترتیب در لاین‌های ۶ و ۱۵ ثبت شد و سایر لاین‌ها از نظر وزن هکتولیتر تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۴). لی و همکاران (Li *et al*., 2015) با بررسی تغییرات عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در واکنش به تراکم بوته گزارش کردند که ارقامی برای کشت متراکم مناسب‌تر هستند که تعداد دانه بیشتری در بوته داشته و پس از ظهور ابریشم زیست‌توده بیشتری داشته باشند و بخش زیادی از ماده خشک به بخش‌های اقتصادی گیاه اختصاص داده شود.

بیشترین عملکرد دانه (۶۰۲۵ کیلوگرم در هکتار) در لاین ۱۲ به‌دست آمد که با لاین‌های ۱، ۲، ۴، ۸، ۹، ۱۳

و ۲۴ تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین عملکرد دانه (۹۴۳ کیلوگرم در هکتار) نیز در لاین ۱۵ ثبت شد که با لاین‌های ۳، ۵، ۶، ۷، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۵ و ۲۶ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد که لاین ۱۲ (K47/2-2-1-2-2-1-1-1) و لاین‌های ۱، ۲، ۴، ۸، ۹، ۱۳، ۱۷، ۱۹ و ۲۴ برای کشت در شرایط نامساعد مناسب‌تر باشند، درحالی‌که لاین ۱۵ (KLM76002/3-1-1-1-1-1-1-3) و لاین‌های ۳، ۵، ۶، ۷، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۵ و ۲۶ در برابر تنش‌های محیطی حساس‌تر بوده هستند و نیاز به مدیریت مناسب زراعی از جمله کشت با تراکم مطلوب، آبیاری مناسب برای عدم مواجه شدن گیاه با تنش‌های محیطی و مبارزه با علف‌های هرز، برای تولید بیشتر محصول دارند. وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2011) با ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد هیبریدهای ذرت سینگل‌کراس تولید شده در چین در سال‌های ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۱ گزارش کردند که انتخاب لاین‌های برتر در شرایط تراکم بالا، به تولید هیبریدهای متحمل به تنش‌های محیطی کمک کرده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه و اجزای عملکرد لاین‌های دیررس ذرت در کشت متراکم

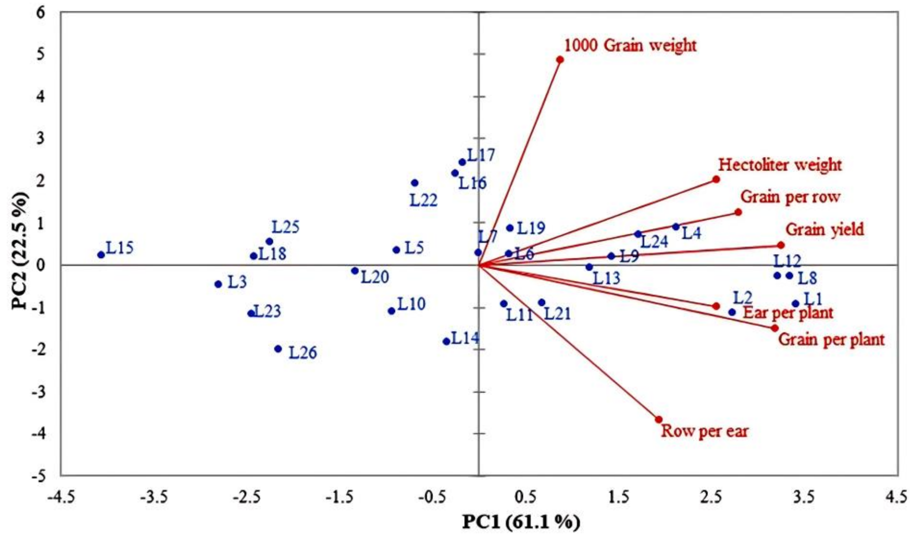
Table 4. Mean comparison of grain yield and yield components of late maturity maize lines in high density planting

لاین‌های ذرت Maize lines	تعداد ردیف دانه در بلال Row.ear^{-1}	تعداد دانه در ردیف Grain.row^{-1}	تعداد دانه در بوته Grain.plant^{-1}	وزن هزار دانه 1000 Grain weight (g)	تعداد بلال در بوته Ear.plant^{-1}	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	وزن هکتولیتر Hectoliter (kg.100lit^{-1})
1†	17.5	26.6	406.3	270.7	0.81	5506	69.3
2	14.7	25.9	371.0	238.1	0.98	4572	69.6
3	12.4	15.9	145.1	244.2	0.42	1018	59.6
4	14.1	31.8	260.0	265.2	0.57	4673	74.7
5	12.6	21.8	148.6	244.3	0.48	2303	69.9
6	13.2	23.9	196.1	238.2	0.59	2551	75.1
7	12.6	27.6	199.0	242.1	0.53	2808	69.3
8	17.9	31.3	367.8	282.5	0.66	5106	71.3
9	15.6	17.9	238.5	291.8	0.85	3978	70.4
10	14.8	20.2	150.1	212.9	0.45	2477	68.8
11	16.2	17.0	203.6	253.6	0.69	3257	68.0
12	17.6	26.8	351.9	288.4	0.73	6025	69.1
13	16.6	25.4	225.0	275.7	0.56	4141	68.8
14	17.7	20.8	183.6	222.4	0.48	2390	67.4
15	12.3	12.7	45.3	263.1	0.24	943	57.7
16	11.2	16.9	147.6	310.7	0.75	2437	72.5
17	14.4	25.5	115.5	328.9	0.31	3217	70.1
18	14.2	11.8	98.9	284.2	0.45	1561	62.1
19	12.3	26.0	212.8	268.1	0.60	3301	68.8
20	13.4	16.6	150.4	263.8	0.64	2094	63.0
21	15.7	24.9	291.8	259.2	0.73	2198	64.9
22	10.7	25.2	153.6	300.1	0.56	2989	64.4
23	13.7	13.2	113.8	224.3	0.48	1677	62.4
24	13.3	30.7	263.8	261.0	0.65	3968	72.8
25	12.0	13.9	119.8	265.4	0.44	1918	64.7
26	15.4	16.1	141.7	212.9	0.51	1250	60.7
HSD (0.05)	4.7	10.5	207.2	104.1	0.46	2670	17.0

† اسامی لاین‌های ذرت در جدول ۱ ارائه شده است

† The names of the maize lines are listed in table 1

نتـایج تجزیـه بـه مؤلفـه‌هـای اصـلی نشـان داد که مؤلفه‌های اصـلی اول و دوم بـه‌ترتیـب ۶۱/۱ و ۲۲/۵ درصـد و در مجمـوع ۸۳/۶ درصـد از کـل تغییـرات صـفات در آزمـایش دوم را توجیـه کردنـد (شـکل ۲). مؤلفه اصلی اول به طور مثبت و معنـی‌داری تحت تـأثیر عملکـرد دانـه، تعـداد دانـه در بوتـه، تعـداد دانـه در ردیف بلال، تعداد بـلال در بوتـه و وزن هکتـولیتر قـرار گرفت. مؤلفه اصلی دوم نیز به طور مثبـت و معنـی‌داری تحت تأثیر وزن هزار دانه و به طـور منفـی و معنـی‌داری تحـت تـأثیر تعـداد ردیـف دانـه در بـلال قـرار داشـت. بر اساس نتایج تجزیـه بـه مؤلفـه‌های اصـلی لایـن‌هـای ۱، ۸، ۱۲ و ۲ به عنوان مناسب‌ترین لاین‌ها برای کشـت در شرایط تراکم بالا شناسایی شدند، درحـالی‌کـه لایـن ۱۵ و پـــس از آن لایـــن‌هـــای ۳، ۱۸، ۲۳، ۲۵ و ۲۶ نامناسب‌ترین لاین‌ها برای کشت متـراکم بودنـد (شـکل ۲). تانـگ و همکـاران (Tang *et al.*, 2018) گـزارش کردنـد کـه در شـرایط تـراکم بـالای بوتـه در ذرت، مؤثرترین صفات بر عملکرد دانـه شـامل تعـداد دانـه در بـلال، وزن هـزار دانـه و طـول و محـیط بـلال بودنـد و ژنوتیـپ‌هـایی کـه کمتـرین کـاهش را در ایـن صـفات داشتند، بـرای کشـت در شـرایط تـراکم بـالا مناسـب‌تـر بودند.



شکل ۲- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس عملکرد دانه و اجزای عملکرد لاین‌های دیررس ذرت در کشت متراکم

Fig. 2. Principal component analysis based on grain yield and yield components of late maturity maize lines in high density planting

† اسامی لاین‌های ذرت در جدول ۱ درج شده است

† The names of the maize lines are listed in table 1

هیبریدهای زودرس ذرت از نظر تعداد ردیـف دانـه در بلال، تعداد دانه در ردیف و وزن هزار دانه در سـطح احتمال یـک درصـد و از نظـر وزن هکتـولیتر در سـطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری داشتند. برهمکنش هیبریـد در سـال بـر عملکـرد و اجـزای عملکـرد دانـه معنی‌دار نبود. بیشـترین و کمتـرین تعـداد بـلال در بوتـه (به‌ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۶۲ بـلال) بـه‌ترتیـب در هیبریـدهای ۲۴ و ۱۳ ثبت شـدند کـه تفـاوت معنـی‌داری بـین آن‌هـا وجود نداشت. بیشترین تعداد ردیف دانه در بلال (۱۸/۳ ردیف) در به هیبرید ۹ و کمترین آن (۱۰/۸ ردیـف) در هیبرید ۱۰ مشاهده شد. بیشـترین تعـداد دانـه در ردیـف (۳۶/۵ دانه) در هیبریـد ۱۲ و کمتـرین مقـدار آن (۲۳/۴

دانه) در هیبرید ۲۴ ثبت شد. بیشترین تعداد دانه در بوته (۴۳۷/۷ دانه) در هیبرید ۱۲ و کمترین مقدار آن (۲۲۳/۷ دانه) در هیبرید ۱۳ ثبت شد. بیشترین و کمترین وزن هزار دانه (به‌ترتیب ۳۴۱/۵ و ۲۰۹/۷ گرم) به‌ترتیب در هیبریدهای ۳ و ۱۶ مشاهده شد. هیبریدهای ۷ و ۲۰ نیز به‌ترتیب با ۷۲/۲ و ۶۲/۵ کیلوگرم، بیشترین و کمترین وزن هکتولیتر را داشتند (جدول ۵). لوک و همکاران (Luque *et al.*, 2006) با ارزیابی پیشرفت ژنتیکی در عملکرد دانه هیبریدهای ذرت آرژانتینی گزارش کرد که هیبریدهایی که در کشت متراکم، بدون کاهش شدید وزن هزار دانه، تعداد دانه بیشتری در بوته تولید کنند، در برابر تنش‌های محیطی، کمبود عناصر غذایی و هجوم علف‌های هرز تحمل بیشتری دارند.

بیشترین و کمترین عملکرد دانه (به‌ترتیب ۹۵۹۴ و ۵۳۷۴ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب در هیبریدهای ۱ (K1263/17×MO17) و ۱۶ (KE79006/3211×K1263/1) ثبت شد که البته تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها به نظر می‌رسد که هیبریدهای زودرس ۱، ۲، ۴، ۶، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۸ می‌توانند در شرایط نامناسب زراعی از قبیل تنش‌های محیطی یا رقابت علف‌های هرز، عملکرد مناسبی تولید کنند. لی و تولنار (Lee and Tollenaar, 2007) گزارش کردند که انتخاب هیبریدهای ذرتی که سبزمانی بالایی داشته و تعادل مناسبی بین منبع و مخزن داشته باشند، به افزایش عملکرد تک بوته و عملکرد دانه مناسب در شرایط تراکم بالا کمک خواهد کرد.

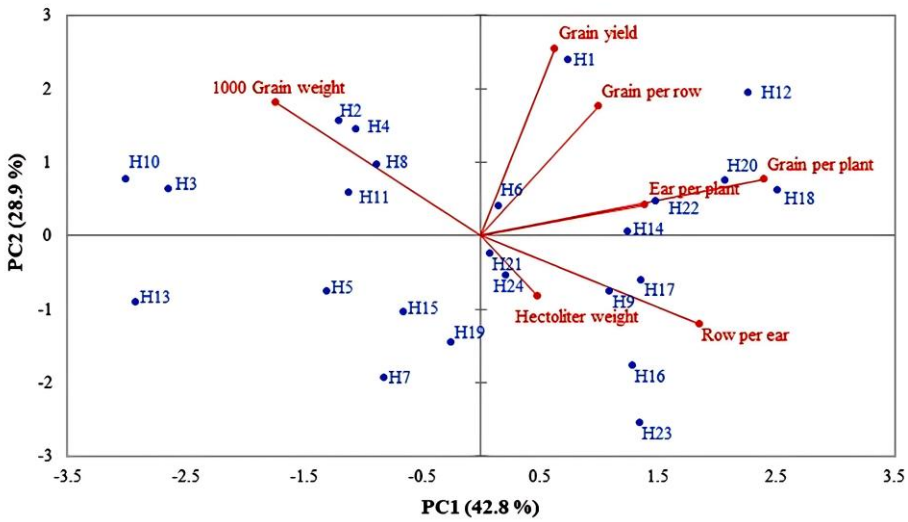
جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد دانه و اجزای عملکرد هیبریدهای زودرس ذرت در کشت متراکم

Table 5. Mean comparison of grain yield and yield components of early maturity maize hybrids in high density planting

هیبریدهای ذرت Maize hybrids	تعداد ردیف دانه در بلال Row.ear^{-1}	تعداد دانه در ردیف Grain.row^{-1}	تعداد دانه در بوته Grain.plant^{-1}	وزن هزار دانه 1000 Grain weight (g)	تعداد بلال در بوته Ear.plant^{-1}	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	وزن هکتولیتر Hectoliter (kg.100lit^{-1})
1†	13.6	35.4	370.5	265.9	0.76	9594	66.4
2	13.7	31.0	304.2	314.5	0.71	8892	68.3
3	13.3	27.7	259.4	341.5	0.68	7905	70.1
4	13.7	27.1	323.8	327.9	0.83	8732	67.2
5	13.8	30.0	282.2	261.4	0.66	6665	67.8
6	16.2	30.4	320.8	270.7	0.65	9203	69.4
7	14.4	25.6	296.5	267.5	0.76	6156	72.2
8	13.8	27.1	316.7	308.7	0.82	8559	67.5
9	18.3	25.2	336.6	255.6	0.74	9157	68.6
10	10.8	26.2	262.8	293.5	0.75	7471	62.6
11	13.3	29.0	294.9	285.1	0.76	8099	67.5
12	14.6	36.5	437.7	260.8	0.81	8979	69.3
13	13.7	26.8	223.7	279.1	0.62	6515	63.8
14	15.0	31.5	380.1	252.8	0.80	7735	69.8
15	13.9	30.4	303.9	249.4	0.72	6126	67.9
16	15.3	31.1	377.0	209.7	0.78	5374	66.2
17	15.5	26.2	390.1	259.6	0.92	7327	68.2
18	16.1	30.9	425.2	241.7	0.85	8908	68.6
19	14.8	26.2	308.0	257.3	0.79	6785	70.2
20	16.0	29.9	430.9	250.6	0.89	8066	62.5
21	14.4	28.9	330.7	261.3	0.80	7509	68.2
22	15.5	31.0	387.2	253.3	0.81	8404	68.2
23	17.7	26.1	345.8	212.4	0.72	6879	69.5
24	14.0	23.4	313.5	251.3	0.96	8148	68.1
HSD (0.05)	2.4	8.9	260.6	54.4	0.43	5314	7.0

† اسامی لاین‌های ذرت در جدول ۱ درج شده است

† The names of the maize lines are listed in table 1



شکل ۳- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس عملکرد دانه و اجزای عملکرد هیبریدهای زودرس ذرت در کشت متراکم

Fig. 3. Principal component analysis based on grain yield and yield components of early maturity maize hybrids in high density planting

† اسامی لاین‌های ذرت در جدول ۱ درج شده است

† The names of the maize lines are listed in table 1

بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۴۲/۸ و ۲۸/۹ درصد و در مجموع ۷۱/۷ درصد از کل تغییرات صفات در آزمایش سوم را توجیه کردند (شکل ۳). مؤلفه اصلی اول به طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر تعداد دانه در بوته و تعداد ردیف دانه در بلال و به طور منفی و معنی‌داری تحت تأثیر وزن هزار دانه قرار داشت. مؤلفه اصلی دوم نیز به طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر عملکرد دانهقرار داشت. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی هیبرید ۱ مناسب‌ترین هیبرید برای کشت در شرایط تراکم بالا شناسایی شد. سارلانگو و همکاران (Sarlangue *et al.*, 2007) نیز گزارش کردند که هیبریدهای ذرت به دلیل تفاوت در تسهیم مواد فتوسنتزی به اندام‌های رویشی و زایشی و همچنین تفاوت در زاویه برگ‌ها، واکنش‌های متفاوتی به تراکم بوته بالا نشان می‌دهند. هیبریدهایی برای شرایط تراکم بالا مناسب‌تر هستند که مواد فتوسنتزی بیشتری را به اندام زایشی و به‌خصوص دانه‌ها اختصاص دهند و برگ‌های آنها عمودی‌تری باشد (Tang *et al.*, 2018). نتایج نشان داد که بین وزن هزار دانه با تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در بوته همبستگی منفی وجود داشت، درحالی‌که عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت را با تعداد دانه در ردیف نشان داد (شکل ۳). لی و همکاران (Li *et al.*, 2011) نیز نتایج مشابهی را درباره همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و تعداد دانه در بوته گزارش کرده‌اند.

تفاوت بین هیبریدهای دیررس ذرت از نظر تعداد ردیف دانه در بلال و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد و از نظر تعداد دانه در ردیف، تعداد بلال در بوته و وزن هکتولیتر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. هیبریدهای ۸ و ۳ به‌ترتیب بیشترین و کمترین تعداد بلال در بوته (به‌ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۵۵) را داشتند (جدول ۶). بیشترین تعداد ردیف دانه در بلال (۱۹/۳ ردیف) در هیبرید ۱ ثبت شد که البته با

هیبریدهای ۶، ۸، ۱۴، ۱۷ و ۲۱ تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین تعداد ردیف در بلال (۱۴/۱ ردیف) نیز متعلق به هیبرید ۱۹ بود که با هیبریدهای ۴، ۲۲، ۲۴ و ۲۶ تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین و کمترین تعداد دانه در ردیف (به‌ترتیب ۳۴/۸ و ۲۰/۹ دانه) به‌ترتیب در هیبریدهای ۵ و ۹ مشاهده شد. بیشترین تعداد دانه در بوته (۵۴۴ دانه) متعلق به هیبرید ۱ بود که در عین حال کمترین وزن هزار دانه (۲۰۹/۹ گرم) را داشت (جدول ۶). این موضوع نشان می‌دهد که با افزایش تعداد دانه و تقسیم مواد فتوسنتزی بین تعداد دانه بیشتر، میانگین وزن دانه کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که در شرایط تراکم بالا، میزان فتوسنتز تک بوته‌ها کاهش یافته و گیاه قادر به ارسال مواد فتوسنتزی کافی برای تعداد دانه بیشتر نبوده است. کمترین تعداد دانه در بوته (۲۱۹ دانه) در هیبرید ۹ و بیشترین وزن هزار دانه (۳۲۹/۱ گرم) در هیبرید ۱۹ ثبت شد که با هیبرید ۲۴ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2011) گزارش کردند که در شرایط تراکم بوته بالا، تعداد دانه تولید شده در هر بوته مؤثرترین صفت تعیین‌کننده عملکرد دانه ذرت است و هیبریدهایی که در تراکم‌های بالا تعداد دانه بیشتری تولید می‌کنند، از تحمل بالاتری به تنش‌های غیرزیستی برخوردار هستند.

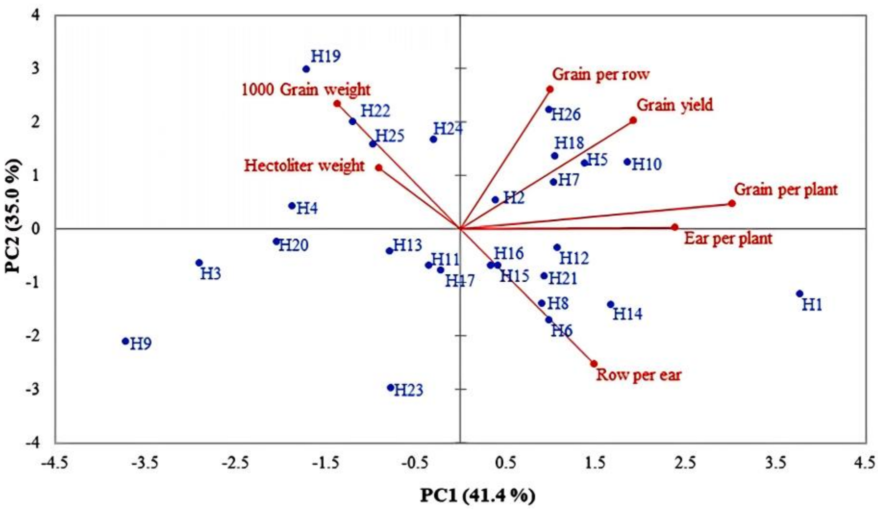
جدول ۶- مقایسه میانگین عملکرد دانه و اجزای عملکرد هیبریدهای دیررس ذرت در کشت متراکم

Table 6. Mean comparison of grain yield and yield components of late maturity maize hybrids in high density planting

هیبریدهای ذرت Maize hybrids	تعداد ردیف دانه در بلال Row.ear^{-1}	تعداد دانه در ردیف Grain.row^{-1}	تعداد دانه در بوته Grain.plant^{-1}	وزن هزار دانه 1000 Grain weight (g)	تعداد بلال در بوته Ear.plant^{-1}	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	وزن هکتولیتر Hectoliter (kg.100lit^{-1})
1†	19.3	29.3	544.0	209.9	0.95	7431	69.8
2	16.3	29.2	399.7	246.6	0.81	7088	71.5
3	16.5	27.6	267.6	251.3	0.55	4828	71.9
4	15.7	31.1	319.8	252.5	0.63	5227	71.6
5	16.3	34.8	461.4	246.6	0.79	6957	69.0
6	18.0	25.7	408.3	220.1	0.89	5859	71.2
7	17.1	29.6	420.5	262.9	0.83	7979	71.1
8	17.7	23.2	400.3	254.9	0.96	6267	68.8
9	16.9	20.9	219.0	257.0	0.62	3980	72.2
10	17.4	30.3	472.9	270.9	0.88	8313	71.3
11	17.3	24.6	366.6	248.4	0.85	6075	74.6
12	17.6	27.3	422.0	247.4	0.88	6911	71.0
13	17.3	25.6	352.7	258.8	0.80	5955	74.0
14	18.2	24.9	436.6	240.1	0.95	6595	69.0
15	17.5	25.9	403.1	249.9	0.88	6083	72.3
16	17.2	25.9	390.2	247.4	0.87	6271	71.4
17	18.5	27.3	363.4	259.7	0.70	6620	69.8
18	16.2	31.7	436.6	255.9	0.85	7480	71.9
19	14.1	27.8	316.8	329.1	0.80	7957	71.5
20	16.7	26.0	311.5	267.3	0.68	5468	73.5
21	18.8	27.7	396.4	254.8	0.77	7256	67.7
22	14.4	31.9	380.8	288.4	0.84	5061	73.2
23	16.8	20.9	354.5	263.0	0.90	3138	62.5
24	15.4	29.5	385.9	304.3	0.85	6773	68.6
25	15.9	27.9	347.2	290.3	0.78	7443	73.6
26	14.6	31.6	435.8	279.7	0.95	7388	69.7
HSD (0.05)	1.7	7.3	332.4	47.5	0.33	5567	7.9

† The names of the maize lines are listed in table 1

† اسامی لاین‌های ذرت در جدول ۱ درج شده است



شکل ۴- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس عملکرد دانه و اجزای عملکرد هیبریدهای دیررس ذرت در کشت متراکم

Fig. 4. Principal component analysis based on grain yield and yield components of early maturity maize hybrids in high density planting

† اسامی لاین‌های ذرت در جدول ۱ درج شده است

† The names of the maize lines are listed in table 1

هیبریدهای ۱۱ و ۲۳ به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن هکتولیتر را داشتند. بیشترین عملکرد دانه (۸۳۱۳ کیلوگرم در هکتار) در هیبرید ۱۰ و کمترین مقدار آن (۳۱۳۸ کیلوگرم در هکتار) در هیبرید ۲۳ تولید شد که تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت (جدول ۶). به نظر می‌رسد که هیبرید ۱۰ در شرایط نامناسب مزرعه مانند عدم کنترل علف‌های هرز (افزایش رقابت بین گونه‌ای) و تراکم بالا (افزایش رقابت درون گونه‌ای) متحمل‌تر از سایر هیبریدها باشند. کامپوس و همکاران (Campos *et al.*, 2006) با ارزیابی روند پنجاه ساله اصلاح ذرت در آمریکا گزارش دادند که تراکم بوته بالا در طول دوره توسعه هیبریدهای ذرت باعث افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی در آن‌ها شده است.

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۴۱/۴ و ۳۵/۰ درصد و در مجموع ۷۶/۴ درصد از کل تغییرات صفات در آزمایش هیبریدهای دیررس را توجیه کردند (شکل ۴). مؤلفه اصلی اول به طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر تعداد دانه در بوته، تعداد بلال بوته و عملکرد دانه قرار داشت. مؤلفه اصلی دوم نیز به طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر تعداد دانه در ردیف و وزن هزار دانه و به طور منفی و معنی‌داری تحت تأثیر تعداد ردیف در بلال قرار داشت. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی هیبرید ۱۰ به عنوان مناسب‌ترین هیبرید برای کشت در شرایط تراکم بالا شناسایی شد. بین صفت وزن هزار دانه با تعداد ردیف دانه در بلال نیز همبستگی منفی وجود داشت، درحالی‌که عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت را با تعداد دانه در ردیف و تعداد دانه در بوته داشت (شکل ۳).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که لاین زودرس KE781010/521، لاین دیررس K47/2-2-1-2-2-1-1-1، هیبرید زودرس K1263/17×MO17 و هیبرید دیررس K47/2-2-1-3-3-1-1-1×K166B در شرایط تراکم بوته

بالا بیشترین عملکرد دانه را داشته و به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌های ذرت برای کشت در شرایط نامساعد شناسایی شدند. در مقابل لاین زودرس KE78010/421، لاین دیررس KLM76002/3-1-1-1-1-1-1-3، هیبرید زودرس KE79006/3211×K1263/1 و هیبرید دیررس KLM77002/3-1-1-1-1-1-1-3×K47/3 به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به کشت متراکم شناخته شدند. این ژنوتیپ‌ها برای کشت در شرایط نامساعد مناسب نیستند و نیاز به مدیریت مناسب زراعی از جمله رعایت تراکم بوته بهینه، کوددهی کافی و مبارزه با علف‌های هرز برای کاهش رقابت بین‌گونه‌ای دارند. لاین‌ها و هیبریدهای متحمل به تراکم بوته بالا در این آزمایش در برنامه‌های به‌نژادی برای تولید و معرفی ارقام متحمل به تنش ذرت قابل استفاده خواهند بود. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در هر چهار آزمایش که نشان داد عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت را با تعداد دانه در ردیف بلال، تعداد دانه در بوته و تعداد بلال در بوته داشت، می‌توان اظهار کرد که ژنوتیپ‌های متحمل به تنش‌های محیطی دارای توانایی تولید تعداد دانه و بلال بیشتری در شرایط تراکم بالا هستند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی در اجرای این پروژه تحقیقاتی با کد مصوب ۹۹۰۰۳۵-۰۰۵-۰۳-۰۳-۲ سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Argenta, G., Silva, P. R. F. and Sangoi, L. 2001. Maize plant arrangement: analysis of the state of the art. *Ciência Rural*, 31(6), pp.1075-1084. https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000600027

Balazadeh, M., Zamanian, M., Golzardi, F. and Mohammadi Torkashvand, A. 2021. Effects of limited irrigation on forage yield, nutritive value and water use efficiency of Persian clover (*Trifolium resupinatum*) compared to Berseem clover (*Trifolium alexandrinum*). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(16), pp.1927-1942. https://dx.doi.org/10.1080/00103624.2021.1900228

Campos, H., Cooper, M., Edmeades, G. O., Löffl, C., Schussler, J. R. and Ibañez, M. 2006. Changes in drought tolerance in maize associated with fifty years of breeding for yield in the U.S. corn belt. *Maydica*, 51(2), pp.369–381.

Dhaliwal, D. S. and Williams, M. M. 2020. Understanding variability in optimum plant density and recommendation domains for crowding stress tolerant processing sweet corn. *PLOS ONE*, 15(2), pp.e0228809. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228809

Dow, E. W., Daynard, T. B., Muldoon, J. F., Major and, D. J., and Thurtell, G. W. 1984. Resistance to drought and density stress in Canadian and European maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Canadian Journal of Plant Science*, 64(3), pp.575-585. https://doi.org/10.4141/cjps84-081

Duvick, D. N. 2005. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy*, 86, PP.83-145. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)86002-X

Golzardi, F., Baghdadi, A. and Keshavarz Afshar, R. 2017. Alternate furrow irrigation affects yield and water-use efficiency of maize under deficit irrigation. *Crop and Pasture Science*, 68(8), pp.726-734.

https://doi.org/10.1071/CP17178

Ku, L., Zhang, L., Tian, Z., Guo, S., Su, H., Ren, Z., Wang, Z., Li, G., Wang, X., Zhu, Y., Zhou, J. and Chen, Y. 2015. Dissection of the genetic architecture underlying the plant density response by mapping plant height-related traits in maize (*Zea mays* L.). *Molecular Genetics and Genomics*, 290(4), pp.1223-1233. https://doi.org/10.1007/s00438-014-0987-1

Lashkari, M., Madani, H., Ardakani, M. R., Golzardi, F. and Zargari, K. 2011. Effect of plant density on yield and yield components of different corn (*Zea mays* L.) hybrids. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 10(3), pp.450-457.

Lee, E. A. and Tollenaar, M. 2007. Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. *Crop Science*, 47(3), pp.202-215. https://doi.org/10.2135/cropsci2007.04.0010IPBS

Li, Y., Ma, X., Wang, T., Li, Y., Liu, C., Liu, Z. and Smith, S. 2011. Increasing maize productivity in China by planting hybrids with germplasm that responds favorably to higher planting densities. *Crop Science*, 51(6), pp.2391-2400. https://doi.org/10.2135/cropsci2011.03.0148

Li, J., Xie, R. Z., Wang, K. R., Ming, B., Guo, Y. Q., Zhang, G. Q. and Li, S. K. 2015. Variations in maize dry matter, harvest index, and grain yield with plant density. *Agronomy Journal*, 107(3), pp.829-834. https://doi.org/10.2134/agronj14.0522.

Luque, S. F., Cirilo, A. G. and Otegui, M. E. 2006. Genetic gains in grain yield and related physiological attributes in Argentine maize hybrids. *Field Crops Research*, 95(2-3), pp.383-397. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.04.007

Maddonni, G. A. and Otegui, M. E. 2004. Intra-specific competition in maize: early establishment of hierarchies among plants affects final kernel set. *Field Crops Research*, 85(1), pp.1-13. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00104-7

Mahrokh, A., Golzardi, F., Azizi, F., Mofidian, S. M. A., Zamanian, M., Rahjoo, V., Torabi, M. and Soltani, E. 2021. Agronomical factors analysis on grain maize yield decreasing in Iran with meta-analysis method. *Journal of Crops Improvement*, 23(1), pp.73-86. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jci.2020.292889.2299

Mahrokh, A., Hassanzadeh Moghadam, H., Najafinezhad, H., Shirkhani, A., Ahmadi, B., Azizi, F. and Golzardi, F. 2023. Bouquet ears in maize inbred lines as affected by agronomic factors. *Journal of Crop Improvement*, 37(1), pp.140-156. https://doi.org/10.1080/15427528.2022.2063776

Meng, Q., Hou, P., Wu, L., Chen, X., Cui Z. and Zhang, F. 2013. Understanding production potentials and yield gaps in intensive maize production in China. *Field Crops Research*, 143, pp.91-97. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.023

Moghadam, A. and Hadizadeh, M. H. 2000. Study on density stress in selection of drought tolerant varieties of corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 2(3), pp.25-38. [In Persian].

Sandhu, S. and Dhillon, B. S. 2021. Breeding plant type for adaptation to high plant density in tropical maize- A step towards productivity enhancement. *Plant Breeding*, 140(4), pp.509-518. https://doi.org/10.1111/pbr.12949

Sarlangue, T., Andrade, F. H., Calviño, P. A. and Purcell, L. C. 2007. Why do maize hybrids respond differently to variations in plant density? *Agronomy Journal*, 99(4), pp.984-991. https://doi.org/10.2134/agronj2006.0205

Tang, L., Ma, W., Noor, M. A. Li, L., Hou, H., Zhang, X. and Zhao, M. 2018. Density resistance evaluation of maize varieties through new density-yield model and quantification of varietal response to gradual planting density pressure. *Scientific Reports*, 8(1), pp.17281. https://doi.org/10.1038/s41598-018-35275-w

Tokatlidis, I. S. and Koutroubas, S.D. 2004. A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. *Field Crops Research*, 88(2-3), pp.103-114. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.013

Tollenaar, M. and Lee, E.A. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research*, 75(2-3), pp.161-169. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00024-2

Vasal, S. K., Cordova, H. S., Beck, D. L. and Edmeades, G. O. 1997. Choices among breeding procedures and strategies for developing stress tolerant maize germplasm. *In:* Edmeades, G.O., Bänziger, M., Mickelson, H.R. and Peña-Valdivia, C.B. (Eds.), Developing drought and low-N tolerant maize. CIMMYT. pp.336-337.

Wang, T., Ma, X., Li, Y., Bai, D., Liu, C., Liu, Z. and Smith, S. 2011. Changes in yield and yield components of single cross maize hybrids released in China between 1964 and 2001. *Crop Science*, 51(2), pp.512-525. https://doi.org/10.2135/cropsci2010.06.0383

Yan, P., Pan, J., Zhang, W., Shi, J., Chen, X. and Cui, Z. 2017. A high plant density reduces the ability of maize to use soil nitrogen. *PLOS ONE*. 12(2), pp.e0172717. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172717

Zhai, L., Xie, R., Ma, D., Liu, G., Wang, P. and Li, S. 2015. Evaluation of individual competitiveness and the relationship between competitiveness and yield in maize. *Crop Science*, 55(5), pp.2307-2318. https://doi.org/10.2135/cropsci2015.01.0033